

METODOS NUMERICOS EN INGENIERIA SISMICA

Enrique Alarcón Alvarez
Dr. Ingeniero de Caminos

MÉTODOS NUMÉRICOS EN INGENIERÍA SÍSMICA

Los métodos numéricos aplicados al estudio de estructuras sometidas a esfuerzos de origen sísmico han sido utilizados habitualmente en ingeniería. La limitación tradicional con que se encontraba el analista radicaba en el enorme esfuerzo de cálculo mecánico necesario para obtener respuestas significativas tan pronto como el modelo matemático a analizar presentaba una cierta complejidad.

Esta situación se vio sustancialmente modificada por la aparición del ordenador que, justamente, libera al proyectista del trabajo repetitivo irracional y permite dedicar tiempo a la reflexión, a la par que aumenta espectacularmente la capacidad de modelado.

No es extraño pues, que en los últimos 30 años se haya asistido a un renacimiento de una rama de la Matemática que parecía agostada y que, fecundada por la nueva herramienta ha florecido en un sinnúmero de técnicas y procedimientos que ponen al alcance del ingeniero el análisis de, virtualmente, cualquier problema estructural.

En este capítulo se pretende exponer algunas de las ideas subyacentes en estos métodos nuevos, así como su posible aplicación al campo que nos interesa. Evidentemente, la limitación de espacio impedirá profundizar adecuadamente en los temas, pero la finalidad última será dotar al estudioso de un marco general en el que situar posteriores aventuras intelectuales.

El contenido se articula en tres grupos principales que se refieren, respectivamente, al modelado de la sollicitación sísmica, de la estructura y cimiento, y al análisis de la respuesta.

Tras lo dicho anteriormente, una exposición que no incluyese alguna manifestación palpable de la influencia de la máquina estaría indefectiblemente esviada. Por ello se incluyen como apéndices cuatro bloques de subrutinas; dos de ellas, en lenguaje Basic de microordenador, se refieren a la transformada rápida de Fourier de la que se hablará más abajo, y al cálculo de autovalores de estructuras formadas por barras; la tercera es un pequeño programa, en Fortran IV, que permite obtener la

respuesta de un sistema de un grado de libertad por un método de integración paso a paso. En el primer apartado se inserta también un programa de determinación de hipocentros.

Todas las subrutinas son elementales y ampliamente mejorables. Creemos sin embargo que ello las hace especialmente legibles lo que puede impulsar su uso y mejora por el estudiante; intervención, en definitiva, deseada y que es el más importante objetivo al que aspiramos.

1. MODELADO DE LA SOLICITACION

Los métodos numéricos intervienen en prácticamente todas las facetas que presenta la necesidad de cuantificar los sismos o sus efectos. Desde las refinadas técnicas de análisis de datos 'borrosos' puestas a punto por Jeffreys a los sofisticados métodos de modelización de los parámetros focales, que puede personalizarse en Aki.

Uno de los temas en que los métodos numéricos y el ordenador juegan un papel importante es en la fijación de hipocentros. En las páginas que siguen se recoge un programa interactivo desarrollado por R.B.Herrman (Earthquake notes. Eastern Section. Seismological society of America. vol.50, no 2, 1979.).

Como puede verse, se trata de un proceso iterativo de ajuste por mínimos cuadrados de los residuos de los tiempos de llegada, esto es, de las diferencias previstas por las tablas de v.g.: Bullen y Jeffreys y de los tiempos reales registrados en el observatorio. Para conseguir la minimización del error, el problema se linealiza suponiendo que los parámetros del hipocentro están lo suficientemente ajustados a la realidad como para que los residuos dependan linealmente de las correcciones de posición.

Númericamente el método se reduce a la resolución de un sistema del tipo

$$\underset{\sim}{A} \underset{\sim}{X} = \underset{\sim}{Y}$$

es decir, simbólicamente,

$$\underset{\sim}{X} = \underset{\sim}{A}^{-1} \underset{\sim}{Y}$$

Sin embargo, es bien sabido que la inversa de $\underset{\sim}{A}$ es muy sensible a la estimación inicial, por lo que se aconseja la ponderación de los elementos de la diagonal principal, transformando el sistema anterior en

$$\underset{\sim}{X} = (\underset{\sim}{A} + \theta \underset{\sim}{I})^{-1} \underset{\sim}{Y}$$

[illegible]

25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

384.
385.
386.
387.
388.
389.
390.
391.
392.
393.
394.
395.
396.
397.
398.
399.
400.
401.
402.
403.
404.
405.
406.
407.
408.
409.
410.
411.
412.
413.
414.
415.
416.
417.
418.
419.
420.
421.
422.
423.
424.
425.
426.
427.
428.
429.
430.
431.
432.
433.
434.
435.
436.
437.
438.
439.
440.
441.
442.
443.
444.
445.
446.
447.

[illegible]

43 58
 44 28
 45 28
 46 28
 47 28
 48 28
 49 28
 50 28
 51 28
 52 28
 53 28
 54 28
 55 28
 56 28
 57 28
 58 28
 59 28
 60 28
 61 28
 62 28
 63 28
 64 28
 65 28
 66 28
 67 28
 68 28
 69 28
 70 28
 71 28
 72 28
 73 28
 74 28
 75 28
 76 28
 77 28
 78 28
 79 28
 80 28
 81 28
 82 28
 83 28
 84 28
 85 28
 86 28
 87 28
 88 28
 89 28
 90 28
 91 28
 92 28
 93 28
 94 28
 95 28
 96 28
 97 28
 98 28
 99 28
 100 28

```

SUBROUTINE STALSTNAME(XLAT,XLON,JMP)
C-----THIS SUBROUTINE FINDS THE COORDINATES CORRESPONDING TO THE-----
C-----SEISMOGRAPH STATION ENTERED WITH THE READINGS. IT ALSO GIVES-----
C-----THE CHANCE TO CORRECT SPELLING ERRORS BEFORE IT ASSUMES THAT-----
C-----THE COORDINATES FOR THE STATION HAVE TO BE ENTERED. IN THIS-----
C-----CASE THE COORDINATES ARE REMEMBERED FOR OTHER RUNS UNDER-----
C-----THE SAME INTERACTIVE SESSION.-----
C-----THIS STATION LIST IS FOR THE SAINT LOUIS UNIVERSITY NETWORK-----
C-----TO CHANGE THE LIST, FILL THE STA,LAT,LOM ARRAYS SIMILARLY.-----
C-----AND CHANGE THE CARD AT STATEMENT 1111 IN THE MAIN PROGRAM WHICH-----
C-----READS NSTA = 30 TO THE NUMBER OF STATIONS IN YOUR LIST-----
COMMON/SLST/LAT,LOM,STA,NSTA
DIMENSION LAT(50),LOM(50),STA(50)
REAL LAT,LOM,NAME
DATA STA/'CRU','DON','DUM','ECB','ELC','GRY','JNP','LST',
1 'LTM','MKT','OKT','PCA','POW','RMB','TYS','VCK','BPI',
2 'CIRL','CSIL','MHIL','SPIN','UDIN','VSTL','BLO','CGM','FVM',
3 'MET','ROL','SLM','TUL',20*'/'
DATA LAT/36.595,37.176,36.888,36.868,37.285,36.264,36.685,36.523,
136.865,35.858,35.626,36.868,36.158,36.286,36.515,36.934,38.282,
2 37.512,37.632,37.927,38.548,38.891,38.498,39.173,37.317,37.984,
3 35.123,37.916,38.636,38.911,20*'/'
DATA LOM/-89.828,-89.933,-89.498,-89.948,-89.227,-89.428,-90.518,
1 -89.731,-89.518,-89.544,-89.835,-90.628,-91.188,-92.278,-90.568,
2 -89.874,-88.592,-88.188,-88.758,-88.171,-87.687,-87.718,-88.875,
3 -90.527,-89.533,-90.426,-89.926,-91.269,-90.236,-95.793,20*'/'
268 CONTINUE
JMP = 0
IF(NAME.EQ.'MALT') JMP=1
IF(NAME.EQ.'MALT') RETURN
DO 100 I=1,NSTA
IF(STA(I).EQ.NAME) GO TO 300
100 CONTINUE
C-----STATION NOT IN LIST CHECK TO SEE IF MISSPELLED-----
WRITE(6,*) 'STATION NOT IN LIST, IS IT MISSPELLED (Y/N)?'
CALL IYESNO(IKJ)
IF(IKJ.LT.0) GO TO 250
WRITE(6,*) 'ENTER CORRECT STATION NAME'
READ(5,1) NAME
1 FORMAT(A4)
GO TO 200
250 CONTINUE
WRITE(6,*) 'ENTER LATITUDE, LONGITUDE FOR STATION'
READ(5,*) XLAT,XLON
NSTA=NSTA+1
STAINSTA)=NAME
LAT(NSTA)=XLAT
LOM(NSTA)=XLON
RETURN
300 CONTINUE
XLAT=LAT(I)
XLON=LOM(I)
RETURN
END
SUBROUTINE TMAPIX,TP,TS,T,IP,IS,II,NR,NM,TM,TT)
C-----THIS SUBROUTINE SETS UP THE BASIC MATRICES BY OBSERVATION RATHER-----
C-----THAN BY STATION-----
DIMENSION X(4,51),TP(51),TS(51),T(51),IP(51),IS(51),II(51)
DIMENSION Y(4,51),TT(51),TM(51)
NM=0
DO 100 I=1,NR
IF(TP(I).LE.0.0) GO TO 50
NM=NM+1
Y(1,NM)=X(1,I)
50 CONTINUE
DO 200 I=1,NM
DEPT(I)=0.1
VSO(I)=V(1)**2
200 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE CORRECT(STA,IP,TP,IS,TS,NR)
C-----SUBROUTINE TO CORRECT OR CHANGE DATA ENTRIES. OTHER WAYS OF DOING-----
C-----THIS EXIST, BUT THIS ALLOWS ONE TO WORK WITH STATION NAMES-----
DIMENSION STA(1),IP(1),TP(1),IS(1),TS(1)
REAL STA
100 CONTINUE
WRITE(6,*) 'ENTER STA TO BE CORRECTED. STA=MALT TO RETURN'
WRITE(6,*) 'THE NUMBER OF STATIONS NR CANNOT BE CHANGED'
READ(5,1) STA
3 FORMAT(A4)
IF(STA.EQ.'MALT') RETURN
DO 200 I=1,NR
IF(STA.EQ.STA(I)) GO TO 300
200 CONTINUE
WRITE(6,*) 'STA NOT IN DATA SET. NO MORE DATA CAN BE ADDED'
GO TO 100
300 CONTINUE
WRITE(6,1) IP(1),TP(1),IS(1),TS(1)
1 FORMAT(1X,'OLD IP',11,' TP',F6.2,' IS',11,' TS',F6.2)
WRITE(6,*) 'ENTER NEW IP,TP,IS,TS'
READ(5,*) IP(1),TP(1),IS(1),TS(1)
GO TO 100
END
SUBROUTINE ELLIPS(SUM,A1,A2,A22)
REAL L1,L2
DETER=A1*A22-A12*A12
D11=A22/DETER
D22=A11/DETER
D12=-A12/DETER
THETA=0.5*ATAN2(2.*D12,D11-D22)
C=COS(THETA)
S=SIN(THETA)
A=C*C*D11+2.*C*S*D12+S*S*D22
B=S*S*D11-2.*C*S*D12+C*C*D22
L1=SQRT(SUM/A)
L2=SQRT(SUM/B)
THETA=THETA+57.2967796
THETA=90.-THETA
IF(THETA.LT.0.0) THETA=THETA+360.
IF(THETA.GT.360.) THETA=THETA-360.
C-----THETA IS THE ANGLE FROM NORTH TO THE X-AXIS OF THE ELLIPSE
WRITE(6,1) L1,L2,THETA
1 FORMAT(1X,'ELLIPSE X=',F7.2,' ON Y=',F7.2,' ON THETA ='
1 ,F7.2)
RETURN
END
SUBROUTINE IYESNO(IKJ)
C-----THIS SUBROUTINE GIVES (Y)=1 FOR A Y(YES) REPLY
C-----

```

```

512# V(2,NM)=X(2,I)
513# V(3,NM)=X(3,I)
514# T(1,NM)=TP(I)
515# T(2,NM)=TS(I)
516# T(3,NM)=TT(I)
517# IF(TP(I).LE.0.0) GO TO 100
518# NM=NM+1
519# V(1,NM)=X(1,I)*1.732
520# V(2,NM)=X(2,I)*1.732
521# V(3,NM)=X(3,I)*1.732
522# T(1,NM)=TP(I)
523# T(2,NM)=TS(I)*1.73
524# T(3,NM)=TT(I)
525# 100 CONTINUE
526# DO 200 I=1,NM
527# GO 200 J=1,3
528# 200 V(1,I)=V(1,I)
529# RETURN
530# END
531# SUBROUTINE MODLL(MODL)
532# C-----THIS SUBROUTINE EXISTS TO ELIMINATE REENTRY OF EARTH MODEL DATA-----
533# C-----EACH TIME THE PROGRAM IS RUN. IT IS EASILY CHANGED BY-----
534# C-----CHANGING THE FIRST GO TO STATEMENT AND SUBSEQUENT CARDS AND-----
535# C-----ALSO BY CHANGING THE PROMPTS IN SUBROUTINE MODLIN-----
536# C-----V(1) IS THE VELOCITY OF THE LAYER-----
537# C-----D(1) IS THE DEPTH OF THE TOP OF LAYER-----
538# C-----NL IS THE NUMBER OF LAYERS INCLUDING HALFSpace-----
539# COMMON/AS/NL,NR,2,X(4,51)
540# COMMON/A22/F(1,1),D(1,1),VSO(1),THK(1),TID(1),DID(1),DID(1,1)
541# COMMON/A22/F(1,1),G(1,1),H(1,1),DEPTH(1),TONE
542# C-----MODEL INFORMATION-----
543# GO TO 100,200,300,MODL
544# C-----NUTTLI MODEL
545# 100 V(1)=6.15
546# D(1)=0.0
547# V(2)=5.78
548# D(2)=2.0
549# V(3)=8.18
550# D(3)=4.0
551# V(4)=8.37
552# D(4)=97.
553# NL=4
554# GO TO 400
555# C-----LMBAYMENT MODEL
556# 200 V(1)=2.88
557# D(1)=0.0
558# V(2)=1.58
559# D(2)=1.0
560# V(3)=5.68
561# D(3)=1.5
562# V(4)=6.15
563# D(4)=2.0
564# V(5)=6.78
565# D(5)=2.0
566# V(6)=8.18
567# D(6)=4.0
568# V(7)=8.37
569# D(7)=97.
570# NL=7
571# GO TO 400
572# C-----JPLANDS MODEL
573# 300 V(1)=5.68
574# D(1)=0.0
575# V(2)=6.15
576# 200 CONTINUE
577# IKJ=1
578# READ(5,1) IK
579# 1 FORMAT(A1)
580# IF(IK.EQ.'N') RETURN
581# IF(IK.NE.'Y') GO TO 100
582# IKJ=1
583# RETURN
584# 100 CONTINUE
585# WRITE(6,*) 'RESPOND WITH A Y OR AN N ONLY'
586# GO TO 200
587# END
588# FUNCTION ARSIN(X)
589# ARSIN = ASIN(X)
590# RETURN
591# END

```

Otro tema donde los métodos numéricos están mostrando su potencia consiste en la simulación de terremotos a partir de características establecidas sobre su supuesto origen en una falla al estilo de la teoría de REID .

Entre los muchos trabajos que se han presentado últimamente , se ha escogido el publicado por R.J. Archuleta y G.A.Frazier en el numero 3 del volumen 68 del Boletín de la SSA . Se trata de simular numéricamente una relajación de tensión en una falla plana de tamaño finito , embebida en un semiespacio elástico tridimensional . En la figura 1 se muestra la malla de elementos

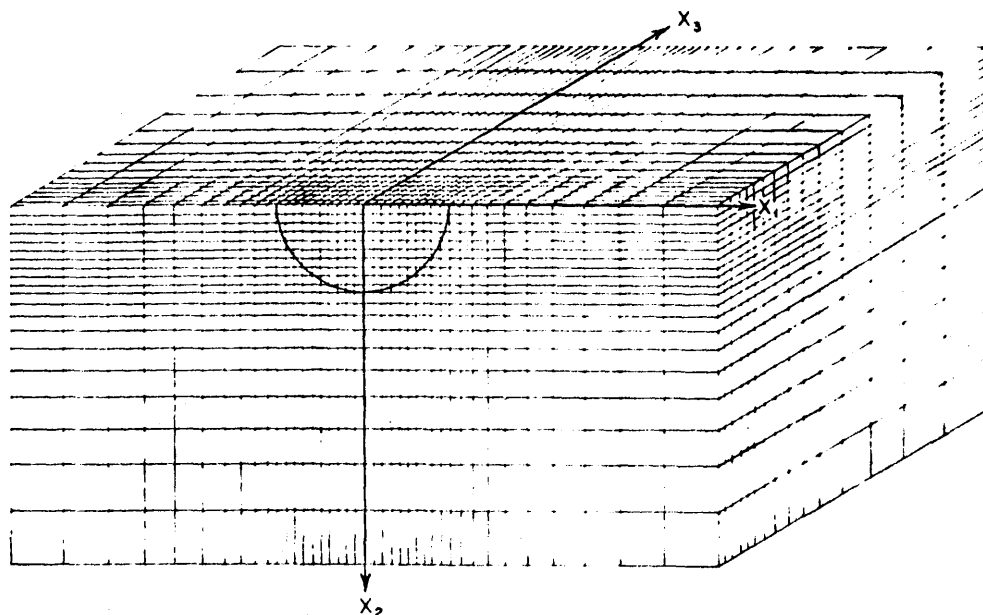


FIGURA 1

finitos utilizada , reducida a la mitad al tener en cuenta la simetría del problema . Para definir éste se precisa especificar el hipocentro , la geometría del plano de falla , la velocidad de ruptura , el estado inicial de tensiones y el coeficiente de rozamiento entre los labios de la falla .

El método usado para el análisis fué una integración paso a paso con diferencias centradas en el tiempo y la malla de elementos finitos está formada por $20 \times 20 \times 15$ elementos paralelepípedicos. Aparentemente no se tomaron precauciones en el contorno del tipo que se comentará mas adelante , aunque el modelo se validó a través de su comparación con otros resultados previos .

En la figura 2 se recogen los contornos de la velocidad horizontal adimensional y máxima de una partícula en la superficie del terreno resultantes de una rotura subsónica

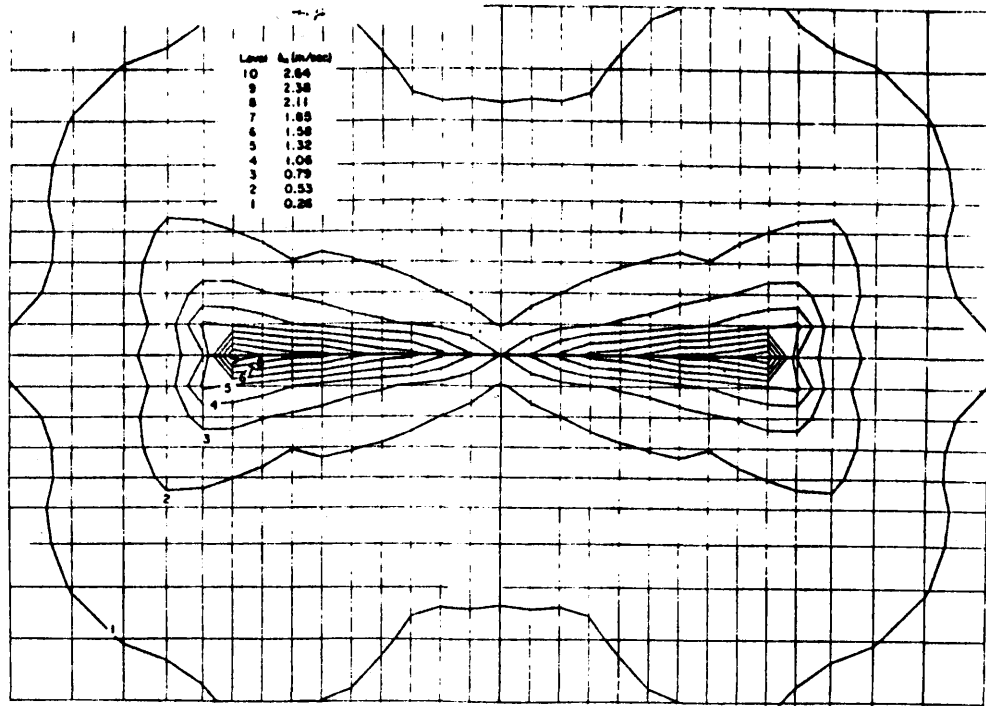


FIGURA 2

tipo falla de rumbo , iniciada en la misma superficie .

Como más adelante se verá , el tipo de simulación anterior está todavía limitado al interés de círculos académicos o de investigación , por el elevado coste que su resolución exige . Quizá la técnica de elementos de contorno que se describirá mas adelante podría revelarse útil como alternativa en estos casos en que la tridimensionalidad es inevitable .

Por el contrario , un aspecto que se analiza en forma corriente es la transmisión de ondas en medios estratificados como el indicado

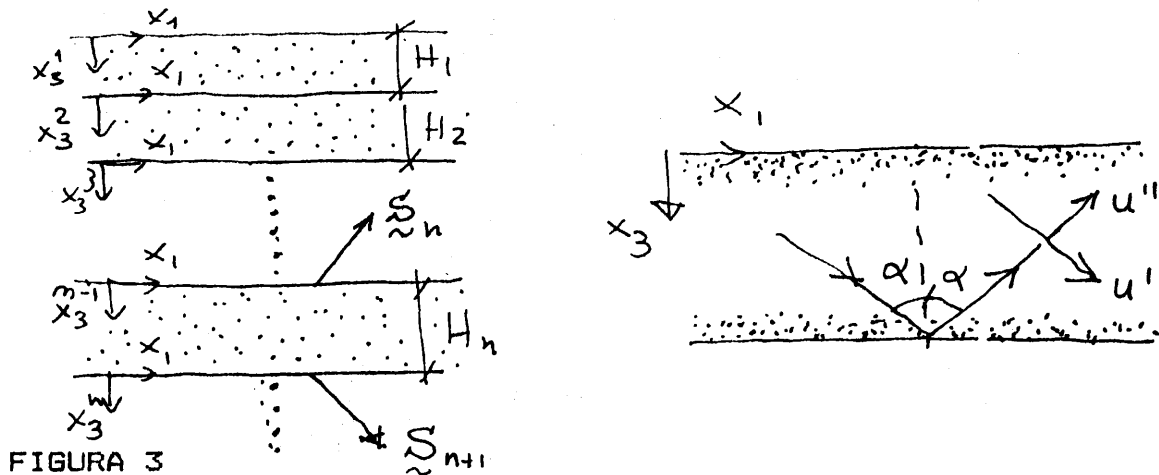


FIGURA 3

en la figura 3 .

El problema que se plantea se refiere al cálculo de los movimientos en superficie , provocados por una onda que progresa desde el fondo de los estratos , o su recíproco , esto es , la 'deconvolución' de un movimiento conocido en superficie para evaluarlo a una cierta profundidad . Se trata , como se verá mas

adelante, de un problema previo a cualquier posible análisis de interacción terreno-estructura.

El método que se emplea consiste en la aplicación de la filosofía conocida como 'matrices de transferencia'. Cada capa se caracteriza por una matriz que recoge las propiedades de interés para la propagación entre sus bordes superior e inferior, y las variables de campo se representan mediante un vector 'de estado' que va siendo multiplicado por la correspondiente matriz de transferencia cada vez que se atraviesa una capa. El método fue desarrollado por Thomson en 1950 y reelaborado por Haskell en publicaciones de 1953, 1960 y 1962. En el caso SH por ejemplo, el vector de estado es

$$\tilde{S}_n = \begin{bmatrix} u_2 \\ 1 \\ -G \frac{\partial u_2}{\partial x_3} \\ i \end{bmatrix}^n$$

donde, evidentemente, u_2 representa el movimiento horizontal y x_3 la coordenada según el eje vertical. La matriz de transferencia correspondiente es

$$\tilde{G}_n = \begin{bmatrix} \cos s H & \frac{i}{G s} \sin s H \\ i G s \sin s H & \cos s H \end{bmatrix}$$

$$s = k \cos \alpha$$

$$k = \omega/c$$

El encadenado de las capas sucesivas es pues

$$\tilde{S}_n(x_3) = \tilde{G}_n \cdot \tilde{G}_{n-1} \cdot \tilde{G}_{n-2} \cdots \tilde{G}_2 \cdot \tilde{G}_1 \cdot \tilde{S}_1(0) = \tilde{T} \cdot \tilde{S}_1(0)$$

donde \tilde{T} es la mencionada matriz de transferencia.

El método puede aplicarse a cualquier tipo de ondas, y así, en la figura 4 se representan los resultados obtenidos al analizar

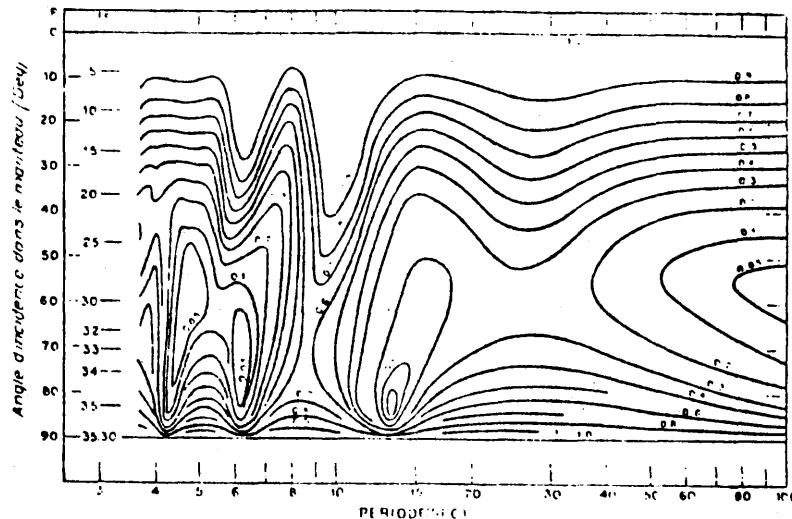


FIGURA 4

la distribución de energía en una onda P para diferentes frecuencias y ángulos de incidencia, en un modelo que pretende representar la corteza terrestre continental, con 37 km. de espesor, $c(S) = 3.635$ km/seg, $c(P) = 6.285$ km/seg, $\rho = 2.869$ g/cm cuando está apoyada sobre un medio semiinfinito de $c(P) = 7.960$ km/seg, $c(S) = 4.600$ km/seg., $\rho = 3.370$ g/cm.

El método está basado en la propagación de ondas con una determinada frecuencia, por lo que cuando se aplica a un movimiento definido por su historia en el tiempo, es preciso proceder a descomponerlo en armónicos.

Este proceso fue relativamente costoso hasta la aparición de un interesante algoritmo numérico, la transformada rápida de Fourier puesta a punto por Cooley y Tukey, que permite obtener transformadas y antitransformadas de forma competitiva con otros métodos de integración.

Para facilitar su aplicación por el principiante, mas abajo se incluye un programa para micro tipo HP-9845, que permite obtener la transformada directa o inversa de una función definida por un conjunto de valores discreto. Debido a las características de la máquina, que no admite tratamiento de complejos, ha sido preciso crear dos conjuntos con las componentes real e imaginaria, según puede verse.

Otro aspecto importante en que el tratamiento digital se ha impuesto ha sido en el tratamiento de los espectros de respuesta. Como es sabido, ante la dificultad de disponer de acelerogramas fiables, Housner propuso en 1941 el uso de aquéllos para intentar caracterizar una 'intensidad sísmica' que fuese objetiva en oposición al concepto clásico de intensidad de Mercalli.

Según se ha explicado en capítulos previos, el método ha evolucionado hasta convertirse en un útil de diseño habitual.

```

5360 SUB Fft(Ar(*),Ai(*),INTEGER N,Nb,REAL I,01,02,03)
5370 |
5380 | *****
5390 | CALCULA LA TRANSFORMADA DIRECTA O INVERSA DE FOURIER
5400 | DE UNA FUNCION DICRETA
5410 | *****
5420 |
5430 | *****
5440 | PARAMETROS DE LA SUBROUTINA
5450 | *****
5460 |
5470 | *****
5480 | Ar=COMPONENTE REAL DE LA FUNCION DE ENTRADA Y DE LA TRANSFORMADA
5490 | Ai=COMPONENTE IMAGINARIA DE LA FUNCION DE ENTRADA OY DE LA TRANSF
5500 | N=EXPONETE DE DOS TAL QUE 2^N=Nb
5510 | Nb=NUMERO DE PUNTOS DE LA FUNCION DE ENTRADA Y DE LA TRANSFORMADA
5520 | I=VARIABLE DE ELECCION
5530 | I=0 TRANSFORMADA DIRECTA DE FOURIER
5540 | I=1 TRANSFORMADA INVERSA DE FOURIER
5550 | *****
5560 |
5570 OPTION BASE 1
5580 |
5590 | DIVISION DE TODOS LOS ELEMENTOS POR EL NUMERO DE PUNTOS
5600 | EN EL CASO DE LA TRANSFORMADA DIRECTA
5610 |
5620 IF I=1 THEN Man1
5630 FOR J=1 TO Nb
5640 Ar(J)=Ar(J)/Nb
5650 Ai(J)=Ai(J)/Nb
5660 NEXT J
5670 Man1: Nbd2=Nb/2
5680 |
5690 | REORDENACION DE LA SERIE DE VALORES PARA EL CALCULO DE LA TRANSFO
5700 |
5710 Nbm1=Nb-1
5720 J=1
5730 FOR L=1 TO Nbm1
5740 IF L=J THEN Man2
5750 Tr=Ar(J)
5760 Ti=Ai(J)
5770 Ar(J)=Ar(L)
5780 Ai(J)=Ai(L)
5790 Ar(L)=Tr
5800 Ai(L)=Ti
5810 Man2: K=Nbd2
5820 Man3: IF K=J THEN Man4
5830 J=J-K
5840 K=K/2
5850 GOTO Man3
5860 Man4: J=J+K
5870 NEXT L
5880 Pi=3.1415926536
5890 FOR M=1 TO N
5900 Ur=1
5910 Ui=0
5920 Me=1
5930 Me=2^M
5940 K=Me/2
5950 IF I=1 THEN Man5
5960 |
5970 | FRECUENCIAS PARA EL CALCULO DE LA TRANSFORMADA DIRECTA
5980 |
5990 Wr=COS(Pi/K)
6000 Wi=-SIN(Pi/K)
6010 GOTO Man6
6020 |
6030 | FRECUENCIAS PARA EL CALCULO DE LA TRANSFORMADA INVERSA
6040 |
6050 Man5: Wr=COS(Pi/K)
6060 Wi=SIN(Pi/K)
6070 Man6: FOR J=1 TO K
6080 |
6090 | CALCULO DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER
6100 |
6110 FOR L=J TO Nb STEP Me
6120 Lpk=L+K
6130 Tr=Ar(Lpk)*Ur-Ai(Lpk)*Ui
6140 Ti=Ar(Lpk)*Ui+Ai(Lpk)*Ur
6150 Ar(Lpk)=Ar(L)-Tr
6160 Ai(Lpk)=Ai(L)-Ti
6170 Ar(L)=Ar(L)+Tr
6180 Ai(L)=Ai(L)+Ti
6190 NEXT L
6200 Urr=Ur
6210 Uii=Ui
6220 Ur=Urr*Wr-Uii*Wi
6230 Ui=Urr*Wi+Uii*Wr
6240 NEXT J
6250 NEXT M
6260 SUBEND

```

Los primeros espectros fueron obtenidos por métodos analógicos , con un péndulo de torsión , lo que disminuía la fiabilidad para pequeños valores del índice de amortiguamiento y distorsionaba completamente el importante caso en que aquél era nulo .

Nigam y Jennings en 1968 demostraron la superioridad de los métodos numéricos así como su fiabilidad y , desde entonces , el proceso de tratamiento ha sido continuamente digital.

Segun se verá en el próximo capítulo , el espectro se utiliza no solamente para el cálculo determinista en problemas lineales , sino que la filosofía impuesta a través de la Nuclear Regulatory Commission USA , ha provocado la aparición de métodos de simulación de sismos sintéticos a los que se les exige entre otras cosas un espectro de respuesta semejante a los ya detectados .

Ello ha provocado la aparición de procesos de simulación en los que , a partir de una primera aproximación , que consiste generalmente en la transformada de Fourier del espectro medio para amortiguamiento nulo , se procede iterativamente por un método de aproximaciones sucesivas , hasta que el acelerograma generado reúne todas las características exigidas .

Evidentemente los métodos numericos juegan un papel predominante en estos procesos aunque , debido a que se les dedica un capítulo exclusivo , se prescindirá de mas comentarios.

2.MODELADO DE LA ESTRUCTURA

Un paso definitivo para obtener resultados realistas en un procedimiento numérico es el modelado de la estructura . En este sentido los metodos computacionales han actuado en tres direcciones

- a) Ampliando el número de grados de libertad manejables en los cálculos.
- b) Permitiendo la elaboración de metodos congruentes de modelado , en particular el metodo de los elementos finitos .(FEM)
- c) Permitiendo la representación de leyes de comportamiento adecuadas a la complejidad de los materiales que se usan.

Gracias al primer tipo de ventajas , ha sido posible analizar sistemas clásicos , pero con una mayor representatividad en cuanto a riqueza de libertades se refiere.

Así por ejemplo , en la figura 5 se incluye el esquema de cálculo

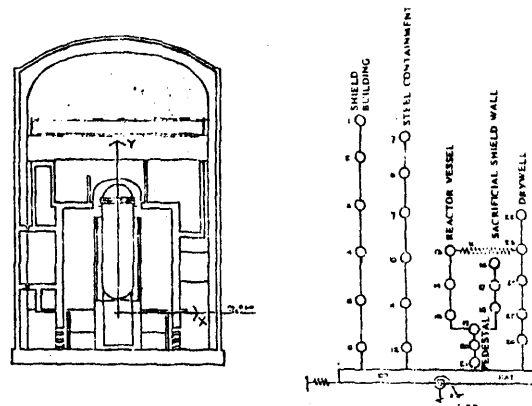


FIGURA 5

de una central nuclear . Como se explicó en un capítulo precedente el cálculo se solía realizar asemejando el comportamiento de la lámina envolvente y las estructuras interiores del edificio de contención mediante voladizos equivalentes en los que se tenía en cuenta la deformabilidad a cortante .

Evidentemente , sin la capacidad del ordenador y de los métodos computacionales adecuados hubiera sido imposible calcular el número de frecuencias o los modos necesarios para su análisis .

En cuanto al segundo punto , no cabe duda que el gran impulso al modelado de estructuras ha venido del desarrollo del método de los elementos finitos , obtenido como genial culminación de las nuevas posibilidades mecánicas y del viejo espíritu de aproximación e interpolación matemática .

En las páginas siguiente se han compuesto dos cuadros en los que se pretende recoger en forma breve y concisa el fundamento del FEM y de otras alternativas con él relacionadas .

El problema se centra en la resolución de una ecuación representativa del comportamiento del modelo , gobernada por un operador A .

En los métodos proyectivos , base de la mayoría de los procedimientos numéricos actuales , se procede a resolver problemas aproximados , mediante operadores aproximados también al operador real .

En particular la solución se escribe en una base finita de funciones conocidas , lo que lleva implícito un proceso de interpolación , y acto seguido se establece una relación de tipo integral utilizando otra familia de funciones para 'proyectar' , ponderando algún error .

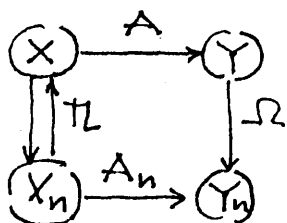
TABLA I

MODELADO DE LA ESTRUCTURA

$$Au = f$$

$$u \in X$$

$$f \in Y$$



$$A_n u_n = \Omega f$$

$$u_n = T_L u_n \sim u^*$$

METODOS PROYECTIVOS

$$u^* = \sum_{j=1}^{\infty} a_j \psi_j$$

$$T_L u_n = \sum_{j=1}^n a_j \psi_j$$

METODO DE PETROV-GALERKIN

$$(Au, \psi_i^*) = (f, \psi_i^*)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$



$$\sum_{j=1}^n a_j (A \psi_j, \psi_i^*) = (f, \psi_i^*)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$A_n \nearrow$$

$$\Omega \nearrow$$

$$\mathcal{P}Au = \mathcal{P}f \Rightarrow \mathcal{P}AT_L u_n = \mathcal{P}f$$

TABLA II

METODO DE LOS RESIDUOS PONDERADOS

$$(A\pi U_n, \psi_i^*) = (f, \psi_i^*) = (Au, \psi_i^*)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$[A(\pi U_n - u), \psi_i^*] = 0$$



$$(\varepsilon, \psi_i^*) = 0; \text{ Si } n \rightarrow \infty \quad \varepsilon \rightarrow 0$$

METODO DE RAYLEIGH-RITZ

$$\psi_i = \psi_i^*$$

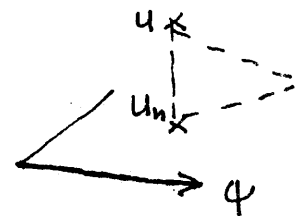
$$\sum a_j (A\psi_j, \psi_i) = (f, \psi_i)$$

METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS

PRODUCTO INTERNO 'ENERGETICO'

$$(\cdot, \cdot) = (A\cdot, \cdot)$$

$$\sum a_j (\psi_j, \psi_i)_A = (u, \psi_i)_A$$



METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

RAYLEIGH-RITZ + splines polinómicos de soporte compacto.

METODOS DE CONTORNO

$$(Au, \psi_i^*)_{\Omega} = a(u, \psi_i^*)_{\Omega} + b(u, \psi_i^*)_{\partial\Omega} = (f, \psi_i^*)_{\Omega}$$

$$(u, A\psi_i^*)_{\Omega} = a(u, \psi_i^*)_{\Omega} + b(\psi_i^*, u)_{\partial\Omega} = (f^*, u)_{\Omega}$$

$$(Eu, N\psi_i^*)_{\partial\Omega} = (Nu, E\psi_i^*)_{\partial\Omega} + (f, \psi_i^*)_{\Omega} - (f^*, u)_{\Omega}$$

$$f^* = 0 \rightarrow \text{METODOS DE TREFFTZ}$$

$$f^* = \delta(\underline{x} - \underline{a}) \rightarrow \text{B. I. E. M.}$$

Lo interesante del FEM es , como se decía mas arriba , la síntesis en un todo congruente de las numerosas ideas dispersas confusas y , a veces , contradictorias que flotaban alrededor del tronco común . Desde este punto de vista , el FEM no es mas que el método de los minimos cuadrados cuando la distancia se mide con una norma adecuada , o el método de Rayleigh-Ritz cuando se utilizan para interpolar splines polinomicos de pequeño soporte .

Una técnica alternativa que está gozando de una creciente popularidad en los ambientes académicos es el método de los elementos de contorno (MEC) , que parte igualmente de una relación de tipo integral basada en los conocidos teoremas de reciprocidad a los que se aplica la técnica interpolatoria del FEM . Mas abajo indicaremos alguno de sus posibles usos en ingeniería sísmica.

Finalmente , y como exponente de las posibilidades de representación realista de las leyes de comportamiento de los materiales , la figura 6 recoge las llamadas reglas de TAKEDA que se utilizan para representar el comportamiento dinámico de estructuras de hormigón .

Como puede verse , el modelo es elastoplástico y degradable , representando la enorme complejidad que la respuesta de una estructura de hormigón armado , con sus procesos de fisuración progresiva o acumulable , va sufriendo .

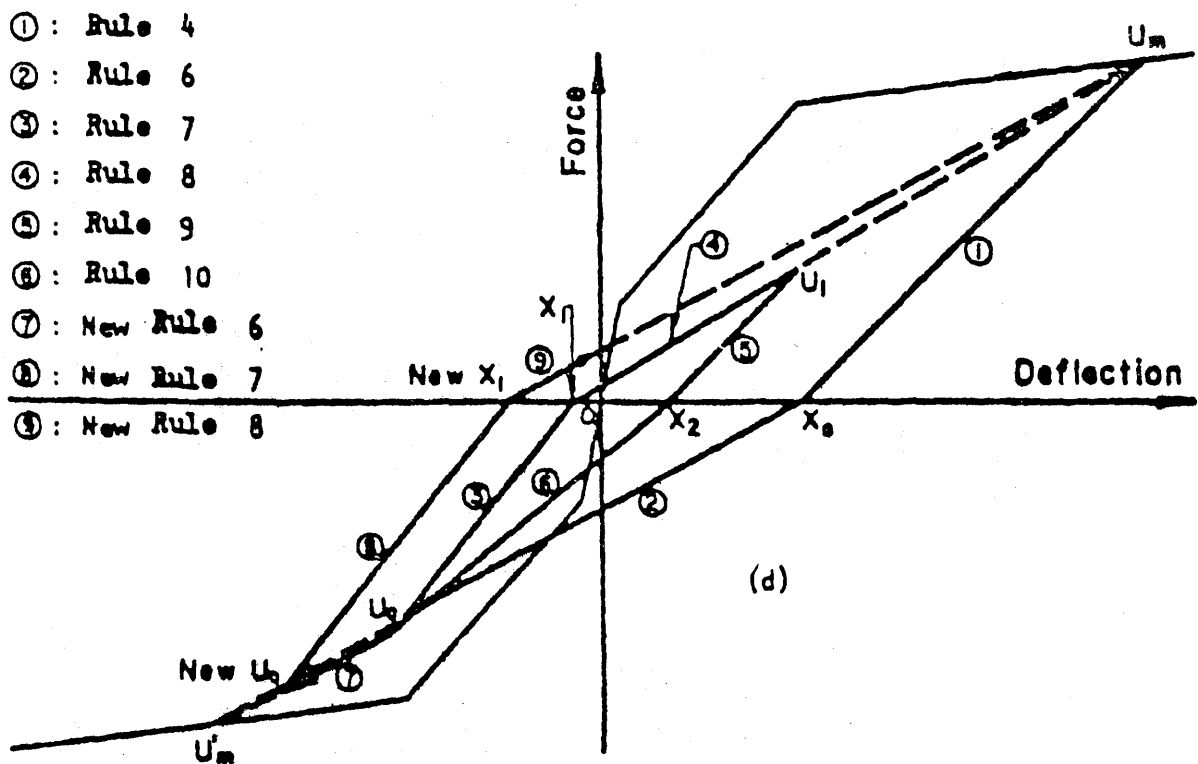
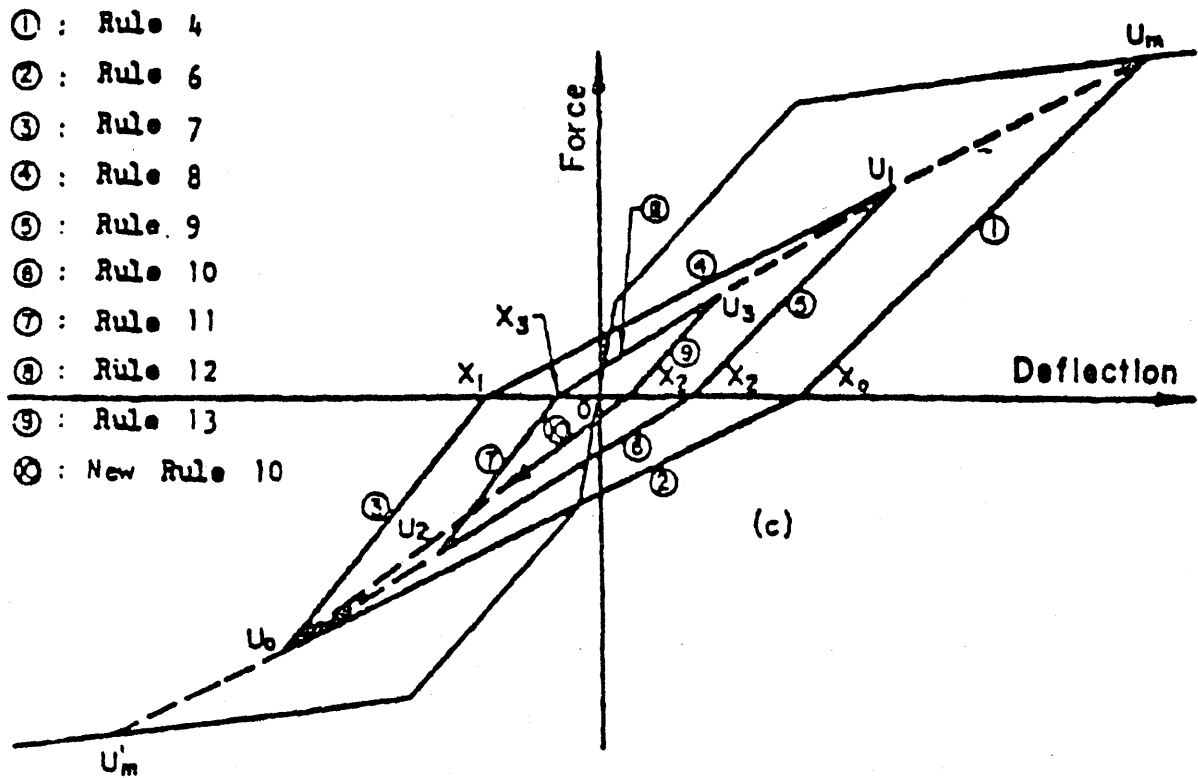
Precisamente la elección del comportamiento lineal o no es uno de los primeros puntos de bifurcación en que se precisa acudir a la capacidad ingenieril . En general , la elección del modelo lineal está provocada por el deseo de ahorro computacional ; pero en ocasiones la no linealidad se presenta inevitablemente ,vg.: al analizar problemas de inestabilidad , grandes deformaciones , etc.

Conviene recordar sin embargo que los modelos lineales mantienen su validez todavía y , desde luego , bajo el punto de vista computacional, pues en los procedimientos paso a paso de los que se hablará mas abajo la estructura se trata como lineal a trozos .

El modelo de Takeda se ha aplicado al estudio de la respuesta de estructuras porticadas de hormigón , en la que como integración se utilizaba un método paso a paso , y dentro de él la idea de matriz de rigidez tangente , buscando los incrementos sucesivos de fuerza .

En estos casos se realiza una predicción de las propiedades que se corrige a posteriori , siendo normal la técnica de las llamadas fuerzas desequilibradas que , en esencia , consiste en buscar la distancia entre el punto a que se llega en el proceso de integración precitado y la curva real tension - deformación del material . Esa distancia mide el desequilibrio provocado en la

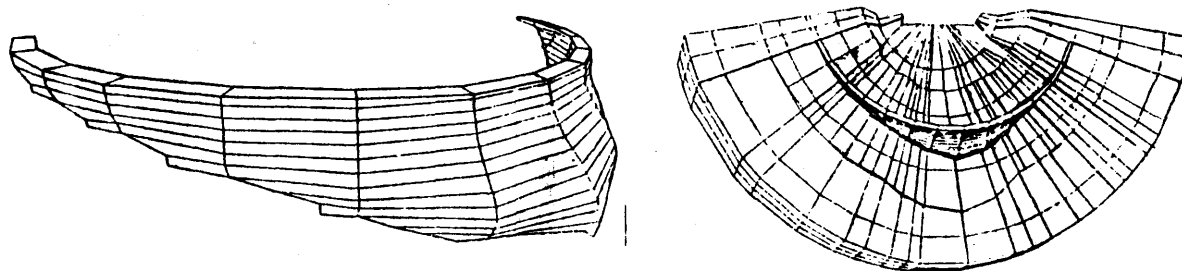
FIGURA 6



hipótesis de integración , y para eliminarlo se concentra en los nudos como cargas equivalentes que se añaden en el intervalo de tiempo siguiente .

El programa citado tiene en cuenta también un cierto grado de no linealidad provocado por los desplazamientos , a través del llamado efecto $P-\delta$, que consiste en llegar a establecer el equilibrio en la posición final de los pilares verticales , lo que implica la aparición de momentos de empotramiento provocados por el descentramiento del esfuerzo axial respecto a la directriz nominal.

Otra posibilidad que debe mencionarse en este capítulo es el tratamiento con subestructuras en problemas como el de la figura 7



BALSARA & NORMAN (EESDJ 1975)

FIGURA 7

donde se manejan medios muy distintos . Esta técnica permite en algunos casos simplificar el problema enormemente al tener en cuenta la posibilidad de concentrar los efectos de una subestructura en el contorno de la otra , tal como se vió al tratar de los problemas de interacción terreno-estructura típicos en el calculo de las centrales nucleares (fig 8).

En este sentido es interesante considerar las posibilidades que puede ofrecer un método como el de los elementos de contorno para simplificar la obtencion de las características citadas (fig 9).

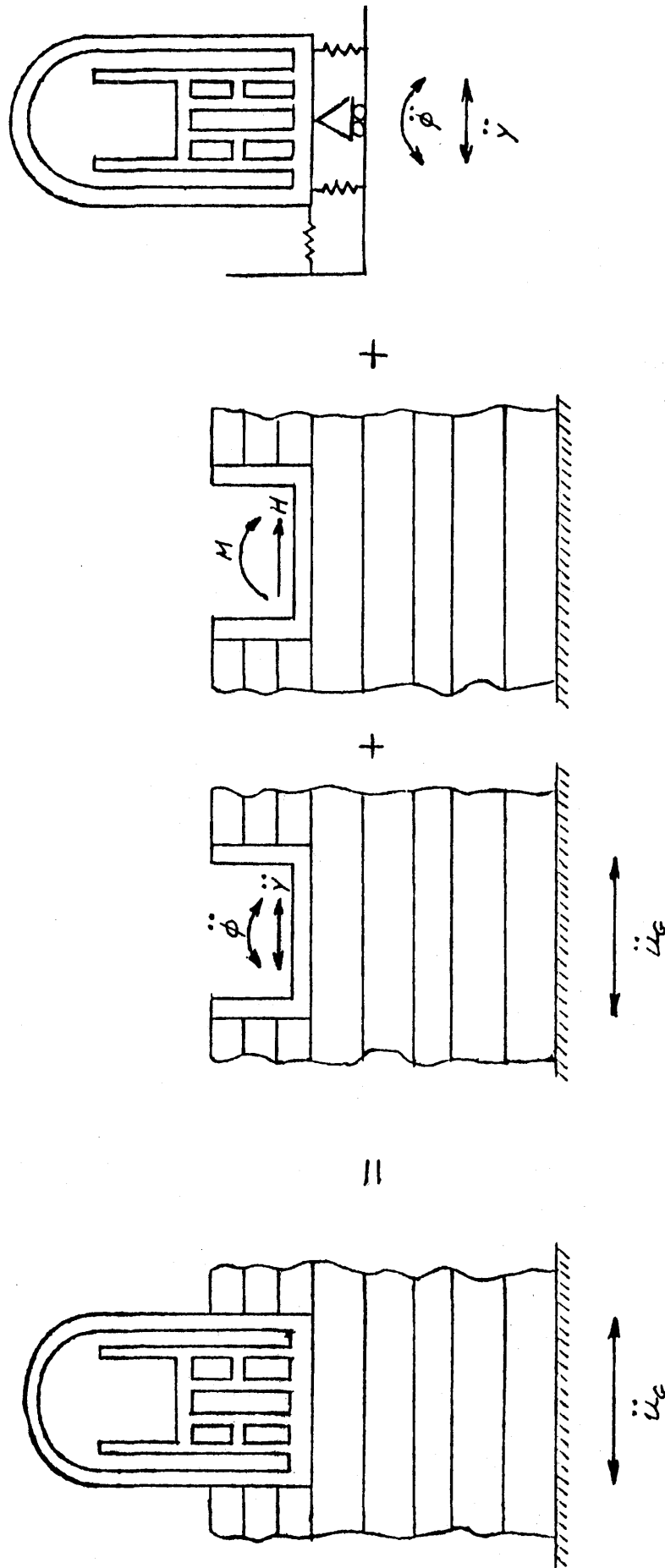


FIGURA 8

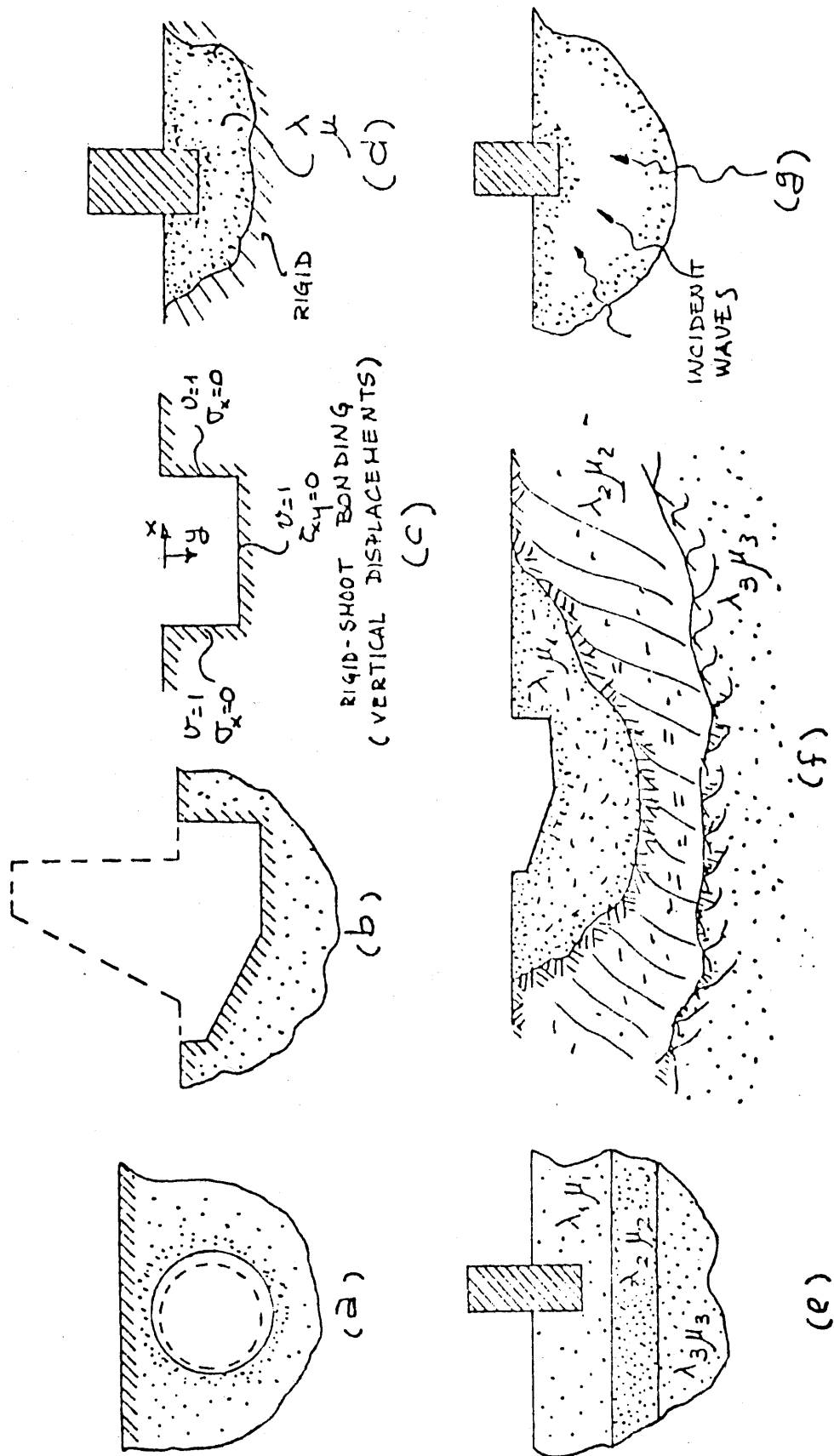


FIGURE 9

Finalmente, en la tabla III se incluye el proceso de discretización que conduce a las ecuaciones dinámicas representativas del sistema en estudio.

TABLA III

$$\tilde{f} = \tilde{q} + \tilde{q}_D + \tilde{q}_I$$

$$\tilde{q}_D = -\tilde{c} \dot{\tilde{u}}$$

$$\tilde{q}_I = -\tilde{m} \ddot{\tilde{u}}$$

DISCRETIZACION

$$(\tilde{A} \tilde{u}, \psi_i^*) = (\tilde{q}, \psi_i^*) - (\tilde{c} \dot{\tilde{u}}, \psi_i^*) - (\tilde{m} \ddot{\tilde{u}}, \psi_i^*)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$\tilde{u}_n = \sum_1^n a_j \psi_j$$

$$\sum_1^n \ddot{a}_j (m \psi_j, \psi_i^*) + \sum_1^n \dot{a}_j (c \psi_j, \psi_i^*) +$$

$$+ \sum_1^n a_j (A \psi_j, \psi_i^*) = (\tilde{q}, \psi_i^*)$$

Matriz de masa

$$\tilde{m} = m_{ij} = \int_{\Omega} \psi_i^* m \psi_j$$

Matriz de amortiguamiento

$$\tilde{c} = c_{ij} = \int_{\Omega} \psi_i^* c \psi_j$$

Matriz de rigidez

$$\tilde{k} = k_{ij} = \int_{\Omega} \psi_i^* A \psi_j$$

Vector de cargas

$$\tilde{f} = f_i = \int_{\Omega} \psi_i^* q$$

$$\tilde{m} \ddot{\tilde{x}} + \tilde{c} \dot{\tilde{x}} + \tilde{k} \tilde{x} = \tilde{f}$$

3. RESPUESTA DINAMICA

Una vez que cargas y estructura han sido modeladas es preciso resolver las ecuaciones del sistema. Las tablas IV, V y VI recogen TABLA IV

1) Analisis modal

$$\underset{\sim}{m} \ddot{\underset{\sim}{x}} + \underset{\sim}{c} \dot{\underset{\sim}{x}} + \underset{\sim}{k} \underset{\sim}{x} = \underset{\sim}{F}$$

Problema de autovalores

$$[-\underset{\sim}{m} \omega^2 + \underset{\sim}{k}] \underset{\sim}{\phi} = 0 \rightarrow \underset{\sim}{\Phi}$$

$$\underset{\sim}{x} = \underset{\sim}{\Phi} \underset{\sim}{\xi}$$

$$(\underset{\sim}{\phi}^T \underset{\sim}{m} \underset{\sim}{\phi}) \ddot{\underset{\sim}{\xi}} + (\underset{\sim}{\phi}^T \underset{\sim}{c} \underset{\sim}{\phi}) \dot{\underset{\sim}{\xi}} + (\underset{\sim}{\phi}^T \underset{\sim}{k} \underset{\sim}{\phi}) \underset{\sim}{\xi} = \underset{\sim}{\phi}^T \underset{\sim}{F}$$

Iteracion por subespacios

$$\underset{\sim}{\phi} = \underset{\sim}{\psi}^* \underset{\sim}{Q} = \sum_{i=1}^q a_i \underset{\sim}{\psi}_i^*$$

$(n \times 1) \quad (n \times q) \quad (q \times 1)$

$$A \rightarrow \underset{\sim}{k} - \omega_i^2 \underset{\sim}{m}$$

$$\sum_{j=1}^q a_j [(\underset{\sim}{k} - \underset{\sim}{m} \omega_i^2) \underset{\sim}{\psi}_j^*, \underset{\sim}{\psi}_i^*] = 0$$

$$\left. \begin{aligned} \underset{\sim}{k}^* &= \underset{\sim}{\psi}^{*T} \underset{\sim}{k} \underset{\sim}{\psi}^* \\ \underset{\sim}{m}^* &= \underset{\sim}{\psi}^{*T} \underset{\sim}{m} \underset{\sim}{\psi} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \underset{\sim}{k}^* \underset{\sim}{a} &= \underset{\sim}{m}^* \underset{\sim}{a} \end{aligned}$$

$(q \times q) \quad (q \times 1)$

Vector de arranque $\underset{\sim}{\psi} = [\underset{\sim}{\psi}_1, \underset{\sim}{\psi}_2, \dots, \underset{\sim}{\psi}_q]$

Iteracion inversa $\underset{\sim}{K} \underset{\sim}{\psi}^* = \underset{\sim}{M} \underset{\sim}{\psi}$

Proyección $\underset{\sim}{k}^* \underset{\sim}{Q} = \underset{\sim}{m}^* \underset{\sim}{Q} \underset{\sim}{\Lambda}$

$(q \times q) \quad (q \times q)$

Imagen Inversa $\underset{\sim}{\phi} = \underset{\sim}{\psi}^* \underset{\sim}{Q}$

$(n \times q) \quad (n \times q) \quad (q \times q)$

este proceso.
TABLA V

2) Respuesta en frecuencia

$$\underset{\sim}{m}\ddot{\underset{\sim}{x}} + \underset{\sim}{c}\dot{\underset{\sim}{x}} + \underset{\sim}{k}\underset{\sim}{x} = \underset{\sim}{f}(t)$$

$$\underset{\sim}{F}(\alpha) = \mathcal{F} \underset{\sim}{F}(t) = (\mathcal{F} F_1, \mathcal{F} F_2, \dots, \mathcal{F} F_n)^T$$

$$\underset{\sim}{X}(\alpha) = \mathcal{F} \underset{\sim}{x}(t)$$

$$(-\alpha^2 \underset{\sim}{m} + i\alpha \underset{\sim}{c} + \underset{\sim}{k}) \underset{\sim}{X}(\alpha) = \underset{\sim}{F}(\alpha)$$

1 g.d.l. $\underset{\sim}{x}(\alpha) = H(\alpha, \omega) \underset{\sim}{f}(\alpha)$

$$H(\alpha, \omega) = \frac{1}{k[1 - (\frac{\alpha}{\omega})^2 + i2\zeta(\frac{\alpha}{\omega})]}$$

Vibraciones aleatorias

$$\underset{\sim}{S}_x(\alpha) = H(\alpha, \omega) \cdot \overline{H}(\alpha, \omega) \underset{\sim}{S}_f(\alpha) = |H|^2 \underset{\sim}{S}_f$$

m. g. d. l

$$R_{\underset{\sim}{x}}^i(\alpha) = \frac{1}{2\pi} \underset{\sim}{\Phi}_i \left[\int_{-\infty}^{\infty} \underset{\sim}{H}(\alpha) \underset{\sim}{S}_f(\alpha) \overline{\underset{\sim}{H}}(\alpha) d\alpha \right] \underset{\sim}{\Phi}_i^T$$

$$\underset{\sim}{S}_{\underset{\sim}{x}}(\alpha) = (\underset{\sim}{\Omega}^2)^{-1} \underset{\sim}{\Phi} \underset{\sim}{S}_{\underset{\sim}{F}}(\alpha) \underset{\sim}{\Phi}^T (\underset{\sim}{\Omega}^2)^{-1}$$

a) Eliminación de las contribuciones desfasadas

b) Eliminación de los ^{auto}productos mutuos $H_i H_j$

$$\bar{x}^2 = \sum_{r=1}^m \underset{\sim}{\Phi}_{\sim{r}} \frac{1}{\omega^4(m_r)} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |H_r(\alpha)|^2 \underset{\sim}{S}_f(\alpha) d\alpha$$

$$m_r = \underset{\sim}{\Phi}_r^T \underset{\sim}{m} \underset{\sim}{\Phi}_r$$

TABLA VI

3) Metodos paso a paso

a) Metodo de las diferencias centradas

$$\tilde{x}_{t+\Delta t} = \tilde{x}_t + \Delta t \dot{\tilde{x}}_t + \frac{\Delta t^2}{2} \ddot{\tilde{x}}_t$$

$$\tilde{x}_{t-\Delta t} = \tilde{x}_t - \Delta t \dot{\tilde{x}}_t + \frac{\Delta t^2}{2} \ddot{\tilde{x}}_t$$

Sumando y restando

$$\ddot{\tilde{x}}_t = \frac{1}{\Delta t^2} (\tilde{x}_{t+\Delta t} - 2\tilde{x}_t + \tilde{x}_{t-\Delta t})$$

$$\dot{\tilde{x}}_t = \frac{1}{\Delta t} \frac{\tilde{x}_{t+\Delta t} - \tilde{x}_{t-\Delta t}}{2}$$

$$(m \ddot{\tilde{x}}_t + c \dot{\tilde{x}}_t + k \tilde{x}_t = f(t))$$

$$(m + \frac{\Delta t}{2} c) \tilde{x}_{t+\Delta t} = \Delta t^2 f +$$

$$= \Delta t^2 f + [2m - \Delta t^2 k] \tilde{x}_t + [\frac{\Delta t}{2} c - m] \tilde{x}_{t-\Delta t}$$

b) Metodos de Newmark

$$[m + \frac{\Delta t}{2} c + \beta \Delta t^2 k] \tilde{x}_{t+\Delta t} =$$

$$= \Delta t^2 [\beta f_{t+\Delta t} + (1+2\beta) f_t + \beta f_{t-1}] +$$

$$+ [2m - \Delta t^2 (1-2\beta) k] \tilde{x}_t -$$

$$- [m - \frac{1}{2} \Delta t c + \beta \Delta t^2 k] \tilde{x}_{t-1}$$

Las tablas anteriores resumen los metodos de cálculo adecuados . Cada uno de ellos presenta problemas computacionales de interés . Así por ejemplo el incremento en numero de grados de libertad ha hecho necesario desarrollar métodos que permitan calcular autovalores y autovectores con economía y precisión , lo que es clave en el método de los modos normales.

El programa Vibrapor , por ejemplo , está preparado para el analisis modal de pórticos planos en un IBM-PC . A continuación se incluyen las subrutinas que realizan el calculo de autovalores por

```
'  PROGRAMA "  V I B R A P O R  "
'
'  Este programa realiza el calculo de las frecuencias propias y modi
'  de vibracion de estructuras reticuladas de nudos rigidos.
'
'
'***** DICCIONARIO
'
'NN ..... Numero de nudos
'MS ..... Numero de barras
'NF ..... Numero de g.d.l. coartados
'N3=NN*3 ..... Numero de g.d.l. totales
'NP=N3+1
'N=N3-NF ..... Numero de g.d.l. reales
'M1 ..... Numero de frecuencias a obtener ( <=N )
'A(N3,N3) ..... Matriz de rigidez de la estructura total en globales,
'                sin aplicar restricciones a los g.d.l.; pasa a ser la
'                sin aplicar restricciones a los g.d.l.; pasa a ser la
'                inversa de A y acaba recogiendo el producto (INV K)*M
'XX(N3,NP) ..... Matriz de masa en coordenadas globales
'AM(M1) ..... Vector de autovalores
'VC(N,M1) ..... M1 vectores modales de un numero de componentes igual
'                al numero real de g.d.l N.
'X(NN) ..... Vector de coordenadas X de los nudos
'Y(NN) ..... Vector de coordenadas Y de los nudos
'IG(N)
'                ..... Vectores auxiliares
'Z(N)
'NS(NF) ..... Numero del g.d.l. coartado
'DC(6,6) ..... Matriz de rotacion
'SM(6,6) ..... Matriz de masa consistente elemental en locales y
'                globales.
'S2(6,6) ..... SM.DC .Matriz auxiliar para el calculo de la
'                SM en globales
'VE(N) ..... Vector que va recogiendo las diferentes columnas de
'                la matriz (INV A)*M
'
'*****
```

un procedimiento de iteracion inversa y barrido .

```

70
71 ##### PROGRAMA PRINCIPAL
72
73
81 OPTION BASE 1
82 PRINT
83 PRINT"ANALISIS MODAL DE ESTRUCTURAS PLANAS DE NUDOS RIGIDOS"
84 PRINT
85 PRINT"Numero de nudos"
86 INPUT NN
87 PRINT"numero de barras"
88 INPUT MS
89 PRINT"Numero de grados de libertad coartados"
90 INPUT NF
100 N3=NN*3
110 NP=N3+1
120 N=N3-NF
130 PRINT"Numero de frecuencias propias a calcular (menor o igual que ";N;
140 INPUT M1
151 '
152 'Dimensionamiento de conjuntos
153 '
160 DIM A(N3,N3),XX(N3,NP),AM(M1),VC(N,M1),X(60),IG(N),Z(N),NS(NF),Y(NN)
170 DIM DC(6,6),SM(6,6),S2(6,6),VE(N)
171 '
172 'Es enviado a formar las matrices de masa y rigidez, a invertir esta
173 'y a formar el producto (INV K)*M
174 '
180 GOTO 1760
190 PRINT
200 PRINT"Se estan calculando los autovalores"
210 PRINT
211 '
212 'Se calculan autovalores por el metodo de las potencias
213 '
220 GOSUB 350
230 FOR I=1 TO M1
240 PRINT"autovalor=";AM(I)
250 PRINT"frecuencia=";SQR(1/AM(I))/(2*3.141618)
260 PRINT"El autovector es"
270 PRINT" "
280 FOR J=1 TO N
290 PRINT VC(J,I);" ";
300 NEXT J
310 PRINT
320 PRINT
330 NEXT I
340 END
341 ' #####

```

Evidentemente el método no es el más adecuado para problemas

```

350 MN=N
360 NN=N
370 GOSUB 1240
380 M=1
390 FOR I=1 TO NN
400 VC(I,M)=X(I)
410 XX(I,M)=VC(I,M)
420 NEXT I
430 AM(M)=XM
440 IF M<2 THEN 230
450 FOR M=2 TO M1
451 '
452 ' Proceso de "barrido" de la matriz
453 '
460   FOR I=1 TO NN
470     K4=ABS(XX(I,M-1)-1)
480     IF K4<9.999999E-06 THEN IR=I
490   NEXT I
500 IG(M-1)=IR
510 FOR I=1 TO NN
520   XX(MN-I+1,MN-M+3)=A(IR,I)
530 NEXT I
540 FOR I=1 TO NN
550   FOR J=1 TO NN
560     Z1=MN-J+1
570     Z2=MN-M+3
580     A(I,J)=A(I,J)-XX(I,M-1)*XX(Z1,Z2)
590   NEXT J
600 NEXT I
610 FOR I=1 TO NN
620   IF I=IR THEN 710
630   IF I>IR THEN K1=I-1
640   IF I<=IR THEN K1=I
650   FOR J=1 TO NN
660     IF J=IR THEN 700
670     IF J>IR THEN K2 = J-1
680     IF J<=IR THEN K2=J
690     A(K1,K2)=A(I,J)
700   NEXT J
710 NEXT I
720 NN=NN-1
730 M3=NN
740 IF M<>MN THEN 780
750 XM=A(1,1)
760 X(1)=1
770 GOTO 790
780 GOSUB 1240

```

grandes , por lo que la citada subrutina solo debe tomarse en su

```

790 FOR I=1 TO NN
800   XX(I,M)=X(I)
810 NEXT I
820 AM(M)=XM
830 M4=M-1
840 M5=1000-M4
850 FOR M8=M5 TO 999
860   M6=M3+1
870   M2=1000-M8
880   M7=IG(M2)+1
890   IF M6<M7 THEN 960
900   N9=1000-M7
910   N8=1000-M6
920   FOR I3=N8 TO N9
930     I=1000-I3
940     X(I)=X(I-1)
950   NEXT I3
960   J=IG(M2)
970   X(J)=0
980   SM=0
990   FOR I=1 TO M6
1000     Z3=MN-I+1
1010     Z4=MN-M2+2
1020     SM=SM+XX(Z3,Z4)*X(I)
1030   NEXT I
1040   XK=(AM(M2)-XM)/SM
1050   FOR I=1 TO M6
1060     X(I)=XX(I,M2)-XK*X(I)
1070   NEXT I
1080   SM=0
1090   FOR I=1 TO M6
1100     IF ABS(SM)<ABS(X(I)) THEN SM=X(I)
1110   NEXT I
1120   FOR I=1 TO M6
1130     X(I)=X(I)/SM
1140   NEXT I
1150   M3=M3+1
1160   IF M2<>1 THEN 1200
1170   FOR I=1 TO M3
1180     VC(I,M)=X(I)
1190   NEXT I
1200 NEXT M8
1210 NEXT M
1220 RETURN
1230 END

```

capacidad educativa. Según se indica el método actualmente mas usado es el de iteración con subespacios que aprovecha la posibilidad de modelar la respuesta como superposición de un numero limitado de modos y utiliza para el cálculo una proyeccion semejante a la planteada al estructurar el método .

El método de respuesta en frecuencia sólo ha sido posible tras la aparición de la transformada rápida de Fourier FFT. Su uso es continuo en problemas de interacción terreno - estructura o análisis probabilista que es otra de las ramas cuyo desarrollo está siendo espectacular.

Finalmente los metodos paso a paso son ideales para el tratamiento de problemas no lineales aunque exigen precauciones en lo que se refiere a los problemas de estabilidad y convergencia .

Muy popular ha sido el metodo de las diferencias centrales que solo es condicionalmente estable, asi como los metodos basados en el esquema de Newmark que se esquematizan en la correspondiente tabla.

En las paginas que siguen se recoge un pequeno programa que ofrece la respuesta de un sistema con un grado de libertad y una cierta riqueza en la caracterización de sus elementos , resolviendo las ecuaciones por un método de predicción - corrección : el llamado de la aceleracion media .

1. ~~000001~~ ~~000~~ ~~FUNCTION AC(A, B, C, X, XP)~~
 2. ~~000002~~ ~~000~~ ~~AC = A * X - C * X~~
 3. ~~000003~~ ~~000~~ ~~AC = FUNCTION~~
 4. ~~000004~~ ~~000~~ ~~END~~

*LLI, L APHAM. 10/7/77			
*LLI, L APHAM. 10/7/77			
000001	000	C	FABRIL FERRERO 1979
000002	000	C	
000003	000	C	DECIANAL
000004	000	C	*****
000005	000	C	
000006	000	C	IC-INSTANTE INICIAL
000007	000	C	IF-INSTANTE FINAL
000008	000	C	AT-INCOMIENZO DE TIEMPO
000009	000	C	AC-ACELERACION INICIAL
000010	000	C	X0-VELOCIDAD INICIAL
000011	000	C	ERROR-ERROR ADMISIBLE
000012	000	C	XM-MASA DEL SISTEMA
000013	000	C	PERT-VALOR DE LA PERTURBACION
000014	000	C	XI-VALOR DEL MOVIMIENTO EN EL INSTANTE I
000015	000	C	XI-VALOR DE LA VELOCIDAD EN EL INSTANTE I
000016	000	C	AI-VALOR DE LA ACCELERACION EN EL INSTANTE I
000017	000	C	
000018	000	C	*****
000019	000	C	
000020	000	C	ENTRADA DE DATOS TARJETAS
000021	000	C	*****
000022	000	C	
000023	000	C	
000024	000	C	LOCALIZACION LINEAL
000025	000	C	XM, X0, XPO, TO, IF, AI, ERROR, METOD
000026	000	C	NTIP, NVK, NVL, NVU
000027	000	C	COLIC
000028	000	C	COLIC
000029	000	C	COLIC
000030	000	C	
000031	000	C	*****
000032	000	C	
000033	000	C	
000034	000	C	GUIA USUARIO
000035	000	C	*****
000036	000	C	
000037	000	C	
000038	000	C	METODO METODO DE LA ACCELERACION LINEAL.
000039	000	C	METODO METODO DE LA ACCELERACION MEDIA.
000040	000	C	NTIP, RIGID, AMORTIGUAMIENTO Y PERTURBACION POLINOMICOS.
000041	000	C	NTIP, RIG, Y AMORT. POLINOMICOS Y PERT. TABLA DE VALORES.
000042	000	C	NTIP, RIG, AMORT. Y PERT. TABLA DE VALORES O FUNCIONES.
000043	000	C	NVR= NUMERO DE COEFICIENTES POLINOMIO DE RIGID.
000044	000	C	NVL= NUMERO DE COEFICIENTES POLINOMIO DE AMORTIGUAMIENTO.
000045	000	C	NVP= NUMERO DE COEFICIENTES POLINOMIO DE PERTURBACION.
000046	000	C	COLIC=VALOR COEFICIENTES RIGID.
000047	000	C	COLIC=VALOR COEFICIENTES AMORTIGUAMIENTO.
000048	000	C	COLIC=VALOR COEFICIENTES PERTURBACION.
000049	000	C	IT-TABLA VALORES RIGID.
000050	000	C	IT-TABLA VALORES AMORTIGUAMIENTO.
000051	000	C	IT-TABLA VALORES PERTURBACION.
000052	000	C	
000053	000	C	*****
000054	000	C	
000055	000	C	
000056	000	C	
000057	000	C	
000058	000	C	PROGRAMA PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS DE PRIMER GRADO POR METODOS
000059	000	C	PREDICCION-CORRECCION
000060	000	C	
000061	000	C	DIRECCION ENCICLO

OC0062	CCO	COPCON TC(201),TK(201),LC(201),COEFC(I),COEFK(I),COEFF(C)	PREC0470
OC0063	CCO	LUNION NVU,NVK,NVC,ATIP,XM,PDI	PREC0480
OC0064	CCO	C	PREC049C
OC0065	CCO	C LECTURA DE LOS DATOS DE ENTRADA	PREC050C
OC0066	CCO	G	PREC0610
OC0067	CCO	LTCE5	
OC0068	CCO	IMPE6	
OC0069	CCO	READILIC,4)IAC	PRL00520
OC0070	CCO	1 FORMAT(12G4)	PRL00530
OC0071	CCO	WRITE(TMP,1C)IENC	PRL00540
OC0072	CCO	101 FORMAT(1H1,E1X,F4G4)	PRL0055C
OC0073	CCO	LEADILIC,4)IX*,XQ,XPO,TQ,TF,AT,(RROA,XP	PRL00560
OC0074	CCO	44 FORMAT(1F1D,4,I5,F5,4)	PRL00570
OC0075	CCO	41 FORMAT(1B1L,4)	PRL00580
OC0076	CCO	WRITE(TMP,1I)TQ,XQ,XPO,TQ,TF,AT,(RROA,XP	PRL00590
OC0077	CCO	102 FORMAT(//10X,'DATOS DE ENTRADA'//15X*'CONDICIONES INICIALES'//15X*'INSPRE'	PRL00600
OC0078	CCO	'TABLA-',E12.5/10X,'VELOCIDAD-',E12.5/10X*'INSTABRE'	PRL00610
OC0079	CCO	2NTE FINAL-',E12.5/10X*'INCREMENTO DE TIEMPO-',E12.5/10X*'ERROR ADI'	PRL0062C
OC0080	CCO	3PLEZ-',E12.5/10X*',ASA DEL SISTEMA-',E12.5)	PRL0063C
OC0081	CCO	READILIC,4)ITIP,NVK,NVC,NVU	PRL00640
OC0082	CCO	5 FORMAT(4I5)	PRL0065C
OC0083	CCO	IF(ITIP-2)4,4,G	PRL0066C
OC0084	CCO	4 READILIC,4)IOLCA	PRL00670
OC0085	CCO	WRITE(TMP,1I)I(OEFC(K),K=1,NVK)	PRL00680
OC0086	CCO	103 FORMAT(//5X'C. ELASTICA. COEF. DEL POLINOMIO'/8(4X,F11.4))	PRL0069C
OC0087	CCO	READILIC,4)IOLCL	PRL00700
OC0088	CCO	WRITE(TMP,1C)I(COLFK(K),K=1,NVC)	PRL00710
OC0089	CCO	104 FORMAT(//5X'C. DE AMORTIGUAMIENTO. COEF. DEL POLINOMIO'/8(4X,F11.4)	PRL0072C
OC0090	CCO	IJ1	PRL00730
OC0091	CCO	IF(ITIP-2)7,5,6	PRL0074C
OC0092	CCO	7 READILIC,4)ICOEFC	PRL00750
OC0093	CCO	WRITE(TMP,1C)I(COEFO(K),K=1,NVU)	PRL00760
OC0094	CCO	105 FORMAT(//5X*'PERTURBACION. COLF. DEL POLINOMIO'/8(4X,E11.4))	PRL0077C
OC0095	CCO	GO TO 9	PRL0078C
OC0096	CCO	5 IF(INV,10,8,	PRL0079C
OC0097	CCO	8 READILIC,4)ITQ(K),K=1,NVU)	PRL00800
OC0098	CCO	WRITE(TMP,1I)I	PRL00810
OC0099	CCO	116 FORMAT(//5X*'PERTURBACION. TABLA DE VALORES')	PRL00820
OC0100	CCO	WRITE(TMP,1C)I(IC(K),K=1,NVU)	PRL00830
OC0101	CCO	106 FORMAT('H(4X,E11.H))	PRL00840
OC0102	CCO	GO TO 5	PRL0085C
OC0103	CCO	6 IF(INV,11,11,12	PRL0086C
OC0104	CCO	12 READILIC,4)ITIK(K),K=1,NVK)	PRL00870
OC0105	CCO	WRITE(TMP,1I)I	PRL00880
OC0106	CCO	117 FORMAT(//5X,C. ELASTICA. TABLA DE VALORES')	PRL0089C
OC0107	CCO	WRITE(TMP,1C)I(IT(K),K=1,NVK)	PRL00900
OC0108	CCO	11 IF(INV,13,13	PRL0091C
OC0109	CCO	13 READILIC,4)ITCK(K),K=1,NVC)	PRL00920
OC0110	CCO	WRITE(TMP,1I)I	PRL00930
OC0111	CCO	118 FORMAT(//5X'C. DE AMORTIGUAMIENTO. TABLA DE VALORES')	PRL0094C
OC0112	CCO	WRITE(TMP,1C)I(IC(K),K=1,NVC)	PRL00950
OC0113	CCO	GO TO 5	PRL0096C
OC0114	CCO	9 CONTINUE	PRL0097C
OC0115	CCO	C	PRL00980
OC0116	CCO	C INSTAURACION DE VALORES INICIALES	PRL0099C
OC0117	CCO	C	PRL01000
OC0118	CCO	XPMEXFO	PRL01010
OC0119	CCO	XFMZXFO	PRL0102C
OC0120	CCO	XMI-XU	PRL01030
OC0121	CCO	T=TQ	PRL0104C
OC0122	CCO	T=TMP-TQ	
OC0123	CCO	CALL ACCEL(TQ,XQ,XPO,XPPM)	PRL01050
OC0124	CCO	A=(F-F0)/AT	PRL0106C

```

000125 000 C
000126 000 C MODELO DE ITERACIONES DURANTE EL PROCESO DE CORRECCION PRE01070
000127 000 C PRE01080
000128 000 K=10 PRE01090
000129 000 WRITE(LIMP,31) PRE01100
000130 000 31 FORMAT( / /40X,'RESULTADOS'//7X'INSTANTE'7X'PERTURBACION' PRE01110
000131 000 16X'MOVIMIENTO'8X'VELOCIDAD'7X'ACELERACION') PRE01120
000132 000 WRITE(LIMP,4+10,PE+1,X0,XF0,XPM1) PRE01130
000133 000 GO TO 1=1,N PRE01140
000134 000 T=1*AT PRE01150
000135 000 C PRE01160
000136 000 C CALCULO DE CONSTANTES PRE01170
000137 000 C PRE01180
000138 000 A=XPM1-XPM1+AT/2. PRE01190
000139 000 B=XM1+XPM1+(1+METOD)*AT/(2+METOD)+PEYCD+XPM1+AT**2/6. PRE01200
000140 000 X1M1=XM1 PRE01210
000141 000 IM=20-J=1,N PRE01220
000142 000 IF(J-1)21,21,22 PRE01230
000143 000 C PRE01240
000144 000 C PROCESO DE PREVISION PRE01250
000145 000 C PRE01260
000146 000 21 IF(1-1)23,23,24 PRE01270
000147 000 23 XPI=XM1+XPM1+AT PRE01280
000148 000 GO TO 25 PRE01290
000149 000 24 XPI=XM2+2*XPM1+AT PRE01300
000150 000 GO TO 24 PRE01310
000151 000 C PRE01320
000152 000 C PROCESO DE CORRECCION PRE01330
000153 000 C PRE01340
000154 000 22 XPI=XM1+XPM1+AT/2. PRE01350
000155 000 25 XIEB=XPI+AT/(2+METOD) PRE01360
000156 000 CALL ACCEL(I,XI,XPI,XPM1) PRE01370
000157 000 IF(ABS((XI-X1M1)/XI)-ERROR)30,30,26 PRE01380
000158 000 C PRE01390
000159 000 C ESCRITURA DE RESULTADOS PRE01400
000160 000 C PRE01410
000161 000 26 XPM1=XPI PRE01420
000162 000 27 X1M1=XI PRE01430
000163 000 30 IF(1,LT,IMPR) GO TO 35 PRE01440
000164 000 WRITE(LIMP,4011,PERT,XI,XPI,XPM1 PRE01470
000165 000 40 FORMAT(15X,11X,51) PRE01480
000166 000 TIMPR=TIMPR+ATIMPR
000167 000 35 XPM2=XPM1 PRE01490
000168 000 XPM1=XPI PRE01500
000169 000 XPM1=XPM1 PRE01510
000170 000 XPI=XI PRE01520
000171 000 30 CONTINUE PRE01530
000172 000 STOP PRE01540
000173 000 END PRE01550

```

END ELI.

•LIT. L'AMN. P. 117 AMG

~~1-7-1, 1-7-1, 1-7-1, 1-7-1, 1-7-1, 1-7-1, 1-7-1, 1-7-1~~

```

000001      CALL SINGRDTIME (ACEL(I,I,X,XP,XPP))

```

000072 010 1

~~1-UNCLAS - 1-NO - 6-SH-H-T-J-N-A-P-A-N-A-L-E-C-A-T-C-I-E-U-F-I-L-A-A-G-T-E-F-I-A-C-I-O-N~~

000104 110 6

```
COMMON /G(201),TR(201),TC(201),COEF1(16),COEFK(16),COEFC(16)
```

[illegible]

100101 000 100101-2011,2,3

UNCLASSIFIED
DATE 11-26-2014 BY 60322 UCBAW

[illegible]

UGULYO	GEO	11 A:A+UCLFC(L)*I*(L-1)
AHD(1)	GEO	A:A/X*

100011	000	A=AXXF
100012	000	10 1=00018611

1.001.12	1.001.13	1.001.14	1.001.15	1.001.16	1.001.17	1.001.18	1.001.19	1.001.20	1.001.21	1.001.22	1.001.23	1.001.24	1.001.25	1.001.26	1.001.27	1.001.28	1.001.29	1.001.30	1.001.31	1.001.32	1.001.33	1.001.34	1.001.35	1.001.36	1.001.37	1.001.38	1.001.39	1.001.40	1.001.41	1.001.42	1.001.43	1.001.44	1.001.45	1.001.46	1.001.47	1.001.48	1.001.49	1.001.50	1.001.51	1.001.52	1.001.53	1.001.54	1.001.55	1.001.56	1.001.57	1.001.58	1.001.59	1.001.60	1.001.61	1.001.62	1.001.63	1.001.64	1.001.65	1.001.66	1.001.67	1.001.68	1.001.69	1.001.70	1.001.71	1.001.72	1.001.73	1.001.74	1.001.75	1.001.76	1.001.77	1.001.78	1.001.79	1.001.80	1.001.81	1.001.82	1.001.83	1.001.84	1.001.85	1.001.86	1.001.87	1.001.88	1.001.89	1.001.90	1.001.91	1.001.92	1.001.93	1.001.94	1.001.95	1.001.96	1.001.97	1.001.98	1.001.99	1.001.100
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------

000013 000 00 12 L=2, RVA
000014 000 12 R=H+G+L+E+K+U+L

0000114 000 12. B=B*(C(LFK(LT)*X*(L-1))

000014	000	6-6788
000016	000	6-6616(1)

000016	DLB	CECCEFC(17)
000017	LEB	LE 11 152

400017 CCJ 10 13 C-2, NVC
400018 CCJ 10 13 C-2, NVC

000019 000 100000

000019	000	0-0787
000020	000	00 10 100

000120	000	00 10 100
000121	000	1 11 100 121

21 63 46 11.8 21.2

LOG022 01.0 71 2-07 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843,

000023 000 00 10 10
000024 000 22 A-1001111A

000125	000	00	10	10
--------	-----	----	----	----

000026 000 3 JF(RVC)31,

~~CCDC27~~ ~~CCO~~ ~~31 A=CE(1,X),XR,XER~~

000128 000 00 10 55

100020	600	32	$A=10(1+1)7$
--------	-----	----	--------------

~~SECRET~~

```
000031      0L0      34  DEFN(T,X,XP,XPP
```

000037	600	60 10 36
--------	-----	----------

0-11111

000034 000 36 171400137,37

000035. 000' 37 C=CC(1,x,xP,xPP

060734-160-6C 10-100

0110037 600 38 C=16(10117

0000136 000 100 APP#ACIA,B,C

~~UDU-66~~ ~~(S)~~ ~~W.D. A.M.~~

000040 000 RF 1000

000004 000 1.0

14-00000

END ELT.